



PRESENÇA DE BACTÉRIAS NO CONCRETO: UMA ANÁLISE DA BIODETERIORAÇÃO E BIOREGENERAÇÃO

CLAUDINO, Cinthia Maria de Abreu (1); GOMES, Bruno Menezes da Cunha (2); NEVES, Yuri Tomaz (3); NASCIMENTO, Maria das Vitórias (4)

(1) Universidade Estadual da Paraíba, cinthiamariac@gmail.com; (2) Universidade Federal do Rio de Janeiro, brunocunhaeng@gmail.com; (3) Universidade Federal de Pernambuco, yuutomaz@gmail.com; (4) Universidade Estadual da Paraíba, vitoriaeng@yahoo.com.br

RESUMO

Com o crescimento das cidades e o progresso da engenharia o concreto passou a ser um dos materiais mais utilizados no mundo. Desde a sua primeira aplicação várias pesquisas vem sendo feitas, na tentativa de criar concretos mais resistentes e duráveis para aplicações específicas, a partir da incorporação de outros materiais a mistura básica. Aliado ao melhoramento do material, também são realizadas pesquisas no intuito de identificar e solucionar as manifestações patológicas no concreto, a exemplos de estudos envolvendo a biodeterioração e bioregeneração. Já sabe-se que atrelado ao concreto os microrganismos, em especial as bactérias podem gerar ações que modificam sua estrutura. Com isso, esse artigo apresenta uma revisão bibliográfica com o objetivo de levantar os malefícios e benefícios de certos grupos de bactérias para o concreto. Merece destaque o fenômeno da bioregeneração, onde se utiliza bactérias encapsuladas que ao entrar em contato com a umidade do ambiente, por meio do surgimento de fissuras, produzem material necessário para sela-las. Igualmente, destaca-se também o processo da biodeterioração, no qual a presença de bactérias pode causar a estrutura efeitos negativos, por meio do surgimento de manifestações patológicas. Vale salientar que estudos envolvendo o comportamento de bactérias no concreto, merecem cada vez mais uma atenção especial tanto no âmbito da pesquisa quanto na prática, pois esse assunto possui uma importância econômica e prática para área a engenharia, e promove a multidisciplinaridade de conhecimentos.

Palavras-chave: Concreto. Bactérias. Biodeterioração. Bioregeneração.

ABSTRACT

With cities' expansion and the engineering progress, concrete has become one of the most used materials in the world. Since its first application, several researches have been made attempting to create more resistant and durable concretes for specific applications, from the incorporation of other materials to the basic mixture. associated to the improvement of the material, research is also carried out to identify and solve pathological manifestations in concrete, to examples of studies involving biodeterioration and bioregeneration. It is already known that attached to concrete the microorganisms, in particular the bacteria can generate actions that modify its structure. With this, this article presents a bibliographical review with the objective to raise the harms and benefits of certain groups of bacteria for the concrete. It is worth mentioning the phenomenon of bioregeneration, where encapsulated bacteria are used. When they come in contact with the humidity of the environment, th the appearance of cracks, they produce material necessary to seal them. Likewise, the biodeterioration process, in which the presence of bacteria can cause the structure negative effects, through the appearance of pathological manifestations is also highlighted. It is worth mentioning that studies involving the behavior of bacteria in concrete, deserve more and more special attention both in the scope of research and in practice, since this subject has an economic and practical importance for engineering area, and promotes the multidisciplinary of knowledge.

Keywords: Concrete; Bacteria; Biodeterioration; Bioregeneration.

1. INTRODUÇÃO

Com o progresso das tecnologias e da área da engenharia civil o concreto passou a ser um dos materiais mais utilizados no mundo, ocupando a segunda posição no ranking de produtos mais consumidos, (ABCP, 2009). O concreto pode ser utilizado em várias áreas, alguns podem ser destinados especificamente para águas marinhas, outros por terem um alto desempenho, são utilizados em obras especiais ou até mesmo destinados para decoração (concretos coloridos).

Essa grande utilização se deve a trabalhabilidade e a resistência da mistura. Como descrito por Bauer (1979) o concreto é um produto misto, proveniente da junção de água, agregados (brita e areia) e cimento, o concreto simples gera uma resistência significativa e é normalmente utilizado em pequenas construções.

Desde a sua invenção, em meados do século XIX, a tecnologia do concreto teve grande desenvolvimento, sofrendo evoluções nas técnicas de produção, na instrumentação e na utilização de novos materiais, dentre os quais destacam-se aditivos, que são produtos que modificam algumas propriedades, melhorando determinadas condições: como maior durabilidade e maior resistência (SALVADOR FILHO, 2007).

No entanto, mesmo com vários cuidados tomados durante o processo de fabricação, mais cedo ou mais tarde a peça de concreto armado acabará por apresentar alguma manifestação patológica (deterioração, fissuras, corrosão na armadura e etc). A fissuração é um dos problemas mais prejudiciais e comuns para o concreto, já que o surgimento desses tipos de aberturas são facilitadores para que agentes químicos agressivos fiquem em contato com a estrutura gerando vários efeitos negativos, principalmente, em certas propriedades, tais como a durabilidade.

Os vários problemas que ocorrem no concreto acabam por elevar os custos de recuperação e manutenção da peça ao longo da sua vida útil, só nos Estados Unidos o custo calculado por ano para manutenção de estruturas de concreto chega a casa dos 20 milhões de dólares (ECHEGARAY, ROJAS e ACAPANA, 2015).

Existem duas grandes linhas de pesquisa que envolvem esse tipo de material e buscam identificar os problemas e suas causas, e as formas mais eficientes de evita-los ou trata-los. Nessa temática esse trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica a respeito da interação de alguns tipos de bactérias com o concreto, a fim de enquadrar as mesmas nessas duas linhas, identificando os malefícios e benefícios desses microrganismos para o concreto.

Atreladas as estruturas de concreto as bactérias podem gerar dois efeitos: a biodeterioração, nesse caso esses microrganismos geram a degradação tanto da matriz do cimento hidratado como também a corrosão das armaduras; a bioregeneração, ao contrário, a presença de alguns tipos de bactérias podem contribuir para solucionar o grande problema dos concretos que é a fissuração.

2. CONCRETO BIOREGENERANTE

O concreto pode apresentar diversos tipos de problemas, para cada um desses existe uma maneira de reparar o dano causado. Atualmente, existem cinco métodos principais para reparar o processo de fissuração do concreto: o produto químico encapsulado, adições minerais, produtos químicos em micro-tubos, uso de materiais da mesma composição do concreto para selar fissuras com espessura controlada e o encapsulado bacteriano, um dos métodos mais recentes (ECHEGARAY, ROJAS e ACAPANA, 2015).

Busca-se por meio de pesquisas avançadas construir um tipo de concreto que se regenera. A ideia de se utilizar bactérias como aditivo a mistura para que o concreto promova sua regeneração é recente. As bactérias por si só, tem a propriedade de se multiplicar facilmente em meios favoráveis, sejam elas autotróficas ou heterotróficas, a sua utilização em um meio como o do concreto busca aumentar a sustentabilidade, economia, resistência e diversidade do material, (ARROYO et. al, 2015).

O método foi descoberto pelo microbiologista Henk Jonkers, em que de maneira semelhante à forma como o nosso corpo é capaz de regenerar o tecido ósseo com a produção de minerais, ao se integrar por uso de cápsulas bacterianas, que podem permanecer dormentes durante 200 anos, ativadas somente quando o material entra em contato com o meio (ar e umidade) através da exposição gerada pelo surgimento de uma fissuração. Essas bactérias quando acordadas produzem material necessário para selar a fissura, (JONKERS, 2011).

2.1 Processo físico-químico

O concreto auto-regenerante ou seu nome em inglês "Self-healing concreto" é composto pelos mesmos materiais do concreto convencional (água, cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e aditivos) junto com o elemento adicional chamado de "agente de cura".

Os agentes de cura tratam-se das espécies *Bacillus pseudofirmus* ou *Sporosarcina pasteurii*, que são capazes de sobreviver ao ambiente inospido do concreto que possui uma alta alcalinidade (pH maior do que 10), além desse tipo de bactérias produzirem esporos que sobrevivem por décadas sem comida ou oxigênio (ECHEGARAY, ROJAS e ACAPANA, 2015).

Garantido a sobrevivência do microrganismo em um meio como o concreto foi pesquisado a característica da bactéria que contribuísse no efeito de regeneração das fissuras do material. Com as análises feitas em produtos usados para auto-cura do concreto verificou-se a predominância na composição do Cálcio, com base nessa informação foi escolhido uma bactéria produtora de calcário.

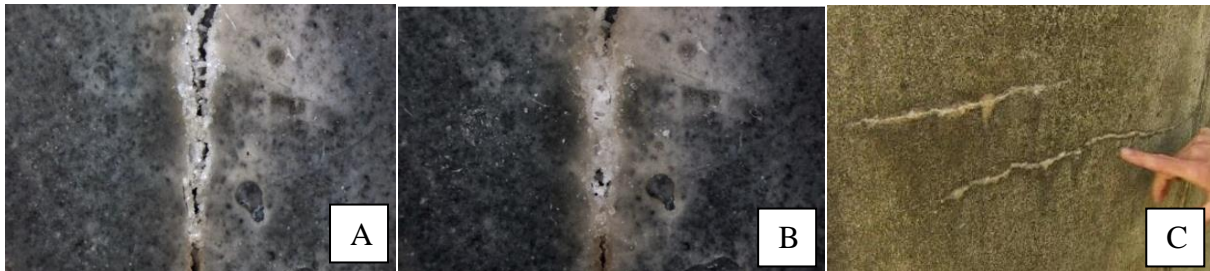
Porém os bacilos precisam de uma fonte de alimento para produzir calcário, foi escolhido lactato de cálcio colocados junto as bactérias em cápsulas feitas com plástico biodegradável que são misturadas no concreto ainda úmido.

Esses agentes ficam intacto durante a mistura, sendo ativado apenas quando o concreto racha e sofre infiltrações. Logo, a água entra e abre as cápsulas, para que a bactéria germine e se multiplique ao se alimentar com o lactato de cálcio.

Ao fazer isso, elas combinam o cálcio com íons de carbonato para formar a calcita ou calcário que irá preencher e fechar as rachaduras.

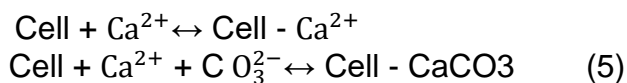
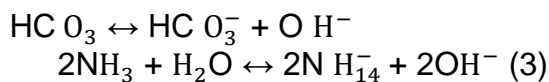
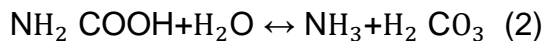
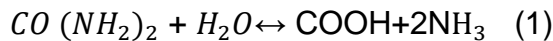
O processo de ação das bactérias é mostrado na figura 2. Ao serem ativadas pelo contato com a água, devido a abertura de fissuras, as bactérias começam o processo de produção de calcário reduzindo ainda mais a abertura e selando a fissura a cada dia que passa, chegando ao fim do processo com a abertura totalmente fechada. O material produzido para o fechamento não reduz a resistência e nem altera significativamente as propriedades do concreto.

Figura 1 – Processo de regeneração do concreto (A) Auto-regeneração ativa apenas 28 dias após a rachadura aparecer (B) Auto-regeneração quase concluída após 56 dias (C) rachadura no concreto está totalmente fechada, após concluir a auto-regeneração.



Fonte: Stewart (2015)

As reações químicas geradas pelo concreto no processo de fissuração até as geradas pelas bactérias no processo de regeneração estão dispostas nas equações abaixo.



As reações químicas se iniciam quando a ureia, ao entrar em contato com o ar úmido do ambiente, passa por um processo de hidrólise que leva a formação do amoníaco (1). Outro processo de hidrólise acontece com o carbonato presente no concreto que após o processo gera dois produtos, o amoníaco e ácido carbônico (2).

Com os produtos gerados ocorrem outras duas reações que geram o aumento do pH local e formam bicarbonato, amônio e íon hidroxila (3). Com o aumento do pH, o bicarbonato sofre desequilíbrio e forma íons carbonato (4).

O último processo ocorre com a ação das bactérias. Primeiramente, a parede da bactéria, que tem carga negativa, atrai o ambiente ao qual está submetido o

concreto (Ca^{2+}). Em seguida, o íon carbonato precipita e dá como um produto o calcário, que será o material utilizado no processo de fechamento das fissuras (5).

Assim, o processo inicial de degradação do concreto, quando submetido aos intempéries do ambiente, geram reações químicas naturais com a implantação das bactérias. Isso passa a ser um processo de produção de uma matéria prima utilizada na regeneração das fissuras do material.

2.2. Efeitos Gerados

O concreto tradicional é frágil, racha com facilidade e sofre ação degenerativa natural com o tempo de uso ou ao ser exposto a ações extras calculadas como a ocorrência de um recalque na fundação de um edifício. Com a adição dos microrganismos bacterianos, o novo composto de concreto pode ser flexionado até a forma de um U sem se quebrar. Quando deformado, o material forma rachaduras finas que se fecham após alguns dias de chuva leve.

Os ensaios de medição de deformação por tração no concreto auto-regenerante mostram que esse tipo é cinco vezes mais resistente que o concreto convencional, além de melhorar a resistência à tração. A resistência à compressão também sofre efeitos positivos, em três dias sofre um aumento de 30,76%, em sete dias ocorre um acréscimo de 46,15% e após vinte e oito dias têm-se o aumento de 32,21% em comparação com concreto convencional. (ECHEGARAY, ROJAS e ACAPANA, 2015)

Ao contrário do concreto convencional que é altamente afetado pela penetração da água, o tipo de concreto auto-regenerativo reduz a permeabilidade. Em épocas de chuva em que ocorre um maior contato do concreto-liquido esse tipo de concreto não é tão afetado pela composição química da chuva; em ambientes críticos como os de estruturas marinhas a corrosão devido a presença de sais marinhos e de ácidos é reduzida.

A produção do concreto auto-regenerativo embora tenha um custo três vezes maior do que o do concreto tradicional, a utilização desse tipo de material elimina a maioria dos custos de reparação devido o surgimento de fissuras que aparecem durante o período útil do concreto. Assim o custo inicial com a produção do material é recompensado a longo prazo, já que diminui a necessidade de manutenção e o consumo de energia.

Outros grandes benefícios gerados, além da redução das necessidades de manutenção, é o fato de que o uso do novo concreto melhora as condições de rolagem já que há uma diminuição na utilização de juntas de dilatação é, principalmente em pontes onde a movimentação dos carros sob as juntas gera um ruído representativo.

3. BIODETERIORAÇÃO DO CONCRETO

Quando se trata da deterioração do concreto o meio técnico da engenharia está habituado a se incomodar com agentes agressivos, tais como, a deterioração causada por ataque químico de cloretos, sulfatos, ciclos de gelo ou degelo, tensões térmicas e mais recentemente as reações do tipo álcali/agregado.

É incomum na área da engenharia estudos e até medidas tomadas para evitar patologias geradas por microrganismos, especificamente bactérias, em materiais largamente utilizados e tão resistentes como o concreto e a argamassa. O termo "biodeterioração" já está em uso há mais de 40 anos, sendo um assunto de grande importância já que envolve diversas áreas de estudo como geologia, bioquímica, microbiologia ecologia, entre outros. (ALLSOPP, SEAL E GAYLARDE, 2004).

Em cada uma dessas áreas o termo é estudado com um foco diferenciado, na engenharia a biodeterioração deve ser explorada com o intuito de encontrar maneiras efetivas de evitar a degradação causada na estrutura bem como os prejuízos econômicos gerados. No entanto, os custos atrelados a biodeterioração de concretos e argamassas são difíceis de serem estimados, já que esse ataque causa diversos danos que envolvem vários tipos de procedimentos para o tratamento desde a reparação, até a limpeza, repintura e aplicação de medidas preventivas, variando de acordo com o grau de degradação gerado.

O primeiro caso de biodeterioração do concreto foi observado na cidade de Melbourne, Austrália, em 1945. O fenômeno foi observado na superfície interna do concreto da rede de esgoto desta cidade que apresentava-se deteriorado apenas acima do nível das águas, com a investigação Parker identificou uma bactéria pertencente a uma nova espécie denominando-as e *Thiobacillus concretivorus*, atualmente conhecida como *Thiobacillus thiooxidans*. (PARKER, 1945)

No Brasil os primeiros estudos sobre o tema foram feitos por Moema Ribas Silva, na década de 1990, que identificou a presença de micro-organismos em amostras de concreto deteriorado. Márcia A. Shirakawa também seguiu essa linha de pesquisa e conseguiu realizar o isolamento de micro-organismos em concreto utilizando microscopia eletrônica, tendo como foco a biodeterioração do concreto a ser utilizado como barreira em repositórios superficiais de rejeitos radioativos. Desde o início dos estudos o fenômeno da biodeterioração vem sendo estudado em outras aplicações do concreto, como é o caso de fundações, redes de esgoto e mais recentemente barragens umidade (FILLA, AUDIBERT e MORALES, 2010).

3.1 Condicionantes para o desenvolvimento da Biodeterioração

O termo biodeterioração possui um sentido negativo para engenharia, pois reporta-se a interações indesejadas e destrutivas entre micro-organismos e diversos materiais, como é o caso de concreto e argamassas, causando danos tanto de ordem estética quanto funcionais (GAYLARDE, SILVA e WARSCHEID, 2003).

Para que a biodeterioração se estabeleça é necessária que haja condições para a manutenção da vida dos agentes envolvidos. Nesse âmbito, a biorreceptividade é a propriedade que qualifica um material quanto à sua capacidade de permitir a fixação e o desenvolvimento de micro-organismos em sua superfície, associando vários fatores como a rugosidade, composição da camada superficial e umidade (FILLA, AUDIBERT e MORALES, 2010).

A tabela 1 relaciona os principais condicionantes com os critérios necessários para o desenvolvimento de bactérias no meio como o do concreto.

Tabela 1 – Condicionantes e critérios para o desenvolvimento de bactérias no ambiente do concreto e argamassa.

| Condicionante | Crítérios |
|----------------------|---|
| Água | Ambientes úmidos possuem uma maior propensão para o desenvolvimento de microrganismos. |
| Nutrientes | O tipo de nutriente disponível irá definir o micro-organismo capaz de iniciar o processo. Esses nutrientes podem ser desde o aditivo orgânico utilizado na preparação do concreto ou argamassa, como é o caso dos lignosulfonatos, compostos inorgânicos ou mesmo matéria orgânica resultante da morte de outros micro-organismos |
| pH | Normalmente bactérias se desenvolvem melhor em ambientes com pH mais ácido |
| Temperatura | Temperaturas entre 20°C e 30°C são consideradas ideais para a maioria dos organismos. |
| Número de Organismos | Existência de certo número de organismos viáveis, ou seja, capazes de se reproduzir. |

Fonte: Gaylarde,2003.

3.2 Efeitos Gerados

Os minerais constituintes do cimento, agregados ou argamassas podem ser dissolvidos por metabólitos ou utilizados diretamente como nutrientes por alguns tipos de bactérias. Essa ação de utiliza o substrato como seu alimento ou função de metabólitos excretados, é uma atividade complexa que envolve processos químicos, físicos e mecânicos. Assim, essas ações geradas pelos microrganismos causam a biodeterioração gerando os mais diversos prejuízos (FILLA, AUDIBERT e MORALES, 2010)

A tabela 2 apresenta os efeitos gerados por bactérias e alguns outros microrganismos e materiais de concreto e argamassa, bem como em materiais que possuem natureza mineralógica similar que também estão expostos ao mesmo tipo de ataque.

Tabela 2 – Efeitos causados pela biodeterioração em materiais de construção.

| Microrganismo | Ação | Material | Efeito |
|--|----------------------------------|--|--|
| Todos | Presença física | Todos | Descoloração e retenção de água |
| Algas e bactérias fotossintetizantes | Presença física | Qualquer superfície limpa | Multiplicação de organismos heterotróficos |
| Fungos, bactérias e fungos filamentosos | Excreção de enzimas hidrolíticas | Madeiras, polímeros, superfícies pintadas, concretos e argamassas. | Quebra de componentes e degradação de aditivos de cadeia curta |
| Fungos, actinomicetos, algas e cianobactérias. | Crescimento de filamentos | Rochas, concretos, argamassas e madeira | Degradação do material |
| Fungos e Bactérias | Produção de ácidos | Rochas, concretos, argamassas | Corrosão |
| Todos | Remoção de Íons. | Rochas, concretos, argamassas | Perda de resistência e dissolução |

Fonte: Gaylarde,2003.

O mecanismo de degradação causado por bactérias em materiais de natureza mineral mais conhecido e estudado é a liberação de ácidos de origem biogênica. Esse mecanismo pode ser identificado em bactérias que degradam compostos inorgânicos (quimiolitotróficas) adquirindo energia produzindo ácido nítrico ou sulfúrico. O mesmo ocorre em bactérias que utilizam como fonte de energia compostos orgânicos (quimiorganotróficas) liberando ácidos orgânicos como o ácido cítrico, ácido oxálico e glucônico entre outros. O contato desses ácidos com a estrutura gera o processo de corrosão no caso do ferro e de degradação no caso da matriz (FILLA, AUDIBERT e MORALES, 2010).

Para diagnosticar patologias em um material como o concreto precisa satisfazer alguns requisitos básicos, assim identificado a patologia e sua causa entra-se no processo de análise de qual forma de tratamento é mais eficaz e é mais econômica. As patologias variam de causa e de tratamento, no caso da biodeterioração, em que as condições ambientais têm um papel preponderante, é necessário um grau maior de atenção.

4. APLICABILIDADE

As tecnologias estão em constante atualização, cabe a cada área de atuação utilizá-la da melhor forma para descobrir novos produtos que venham a melhorar o desempenho de cada produto fornecido. No caso da engenharia o uso de tecnologias e as suas atualizações são essenciais, tanto na parte inicial do pré-projeto como na parte da construção e acabamento, o conhecimento atrelado a aplicação das tecnologias garantirão uma construção mais eficiente, com menos gastos desnecessários e com uma vida útil maior.

Mesmo sendo uma linha de pesquisa em progresso o tipo de tecnologia para o concreto que se regenera já foi usado no edifício Osaka, o maior prédio residencial do Japão, uma estrutura de 60 andares. O material também foi usado em uma ponte construída em 2006 sobre a Interestadual 94 em Michigan, onde eliminou a necessidade das juntas de dilatação tradicionais. (KREBS, 2009)

Quanto ao caso de identificação de patologias referentes a ação de bactérias é possível citar o caso de pilares protendidos de uma edificação urbana que apresentavam descolamento de placas de concreto e exposição de armadura. Com o uso de microscopia eletrônica identificou-se que a microestrutura do concreto encontrava-se deteriorada pela dissolução de cristais de cálcio (carbonato de cálcio, portlandita etc.). Junto a essas regiões foram identificadas bactérias produtoras de ácido sulfúrico (*Thiobacillus*), bactérias filamentosas, leveduras e hifas de fungos. (SILVA E PINHEIRO, 2005)

Outro caso mais antigo datado da década de 90, no Brasil, foi encontrado num túnel de concreto projetado na cidade de São Paulo. Devido a paralisação das obras por um período de cinco anos, uma infiltração de água contaminada por um vazamento de óleo diesel serviu como nutriente para propiciar o crescimento de diversos organismos como bactérias heterotróficas, bactérias redutoras de sulfato, *Thiobacillus* e fungos sobre a superfície do concreto. Essa região atingida pelos microrganismos encontra-se completamente degradada e com aparência gelatinosa (SHIRAKAWA, 1999).

5. CONCLUSÃO

Com a revisão bibliográfica realizada foi possível chegar ao objetivo do trabalho e assim apresentar as formas pelas quais as bactérias podem contribuir e destruir um material como o concreto.

Por meio desse apanhado bibliográfico é fácil inferir como tecnologia e a atualização dos conhecimentos colaboram na engenharia para descoberta de novos materiais, como no caso do concreto bioregenerante. Além de servir para identificação e solução de problemas como no caso das patologias no concreto ocasionadas pela biodegradação.

Apesar de ser uma linha de pesquisa pouco difundida na engenharia a ação das bactérias nos materiais utilizados na construção, seja de forma benéfica ou maléfica, merece cada vez mais uma atenção especial tanto no âmbito da pesquisa quanto no da prática.

O estudo de um tema como este, além de unir e difundir conhecimento sobre as ações de bactérias em materiais como concreto, deixa claro que as soluções e conhecimentos devem ser abordados e pensado de maneira integrada e multidisciplinar, atrelando os conhecimentos já descobertos de outras áreas para aperfeiçoamento da prática da engenharia.

REFERÊNCIAS

ABESC - Associação Brasileira de Serviços de Concretagem. **Preparo de concreto**. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/concretteca/publicacoes/83/preparo-de-concreto.html>>. Acesso em: 14 de jun. 2017.

ALLSOPP, D.; SEAL, K. J.; GAYLARDE, C. C. **Introduction on Biodeterioration**. 2º Ed. Cambridge University Press, 2004, pp 1-10.

ARROYO, L. F.; TANAKA, K. Y. M.; TEIXEIRA, T. M., ALVES, C. E. S.; FELIX, G. A. A. Concreto biológico: Uma proposta sustentável. In: VIII MOSTRA INTERNA DE TRABALHOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA I MOSTRA INTERNA DE TRABALHOS DE INICIAÇÃO TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO. **Anais...** Maringá, 2016.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção v. 2**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

ECHEGARAY, C. F. P. L. ; ROJAS, S. K. H. ; ACAPANA, E. S. Los beneficios del uso de bacterias en el concreto auto-regenerante. **Revista CIVILIZATE**. Nº 7, 2015.

FILLA, J. C.; AUDIBERT, J. L.; MORALES, G. Biodeterioração de concretos e argamassas. **Revista de tecnologia da construção - Téchne**, ed 157 – Abril, 2010.

GAYLARDE C.; SILVA, M. R.; WARSCHEID, T. Microbial Impact on Building Materials: an overview. **Journal Materials and Structures/Materiaux et Constructions**, Vol. 36, pp 342-352, Juin 2003.

JONKERS, H.M. **Bacteria Based Self Healing Concrete**. 2011. Disponível em: <<http://heronjournal.nl/56-12/1.pdf>>. Acesso em: 17 de jun. de 2017.

KREBS, C. **Concreto Regenerativo**. 2009. Disponível em: <<http://krebsarquitetura.com.br/blogs/?p=337>>. Acesso em: 15 de jun. de 2017.

PARKER, C. D. **The corrosion of concrete - The isolation of a specie of bacterium associated with the corrosion of concrete exposed to atmosphere containing hydrogen sulphide**. Biol Exper. Med ScL 23: 81-90, 1945.

SALVADOR FILHO, J. A. A. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SHIRAKAWA, M. A. **Biodeterioração de Argamassas por Fungos - Desenvolvimento de Teste Acelerado para Avaliação da Bio-receptividade**. 1999. Tese (Doutorado em Ciências). Instituto de ciências biomédicas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SILVA, M. R.; PINHEIRO S. M. M. **Biodeterioração do Concreto**. In: Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações. Cap. 28. Pp 857-878. Editora Ibracon, 2005.

STEWART, A. **The 'living concrete' that can heal itself**. Disponível em: <<http://edition.cnn.com/2015/05/14/tech/bioconcrete-delft-jonkers/>>. Acesso em: 15 de jun. de 2017.